



P/2699-26

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Toshikazu KITAJIMA et al. Date : August 27, 2003
Serial No. : 10/624,871 Group Art Unit : ---
Filed : July 21, 2003 Examiner : ---
For : FILM THICKNESS MEASURING METHOD, RELATIVE DIELECTRIC CONSTANT MEASURING METHOD, FILM THICKNESS MEASURING APPARATUS, AND RELATIVE DIELECTRIC CONSTANT MEASURING APPARATUS

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:

In accordance with 35 U.S.C. §119, Applicants confirm the prior request for priority under the International Convention and submits herewith the following documents in support of the claim:

Certified Japanese Application No.:

Japanese Application No. 2002-212884 filed July 22, 2002; and

Japanese Application No. 2003-171087 filed June 16, 2003.

EXPRESS MAIL CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as Express Mail Post Office to Addressee (mail label #EV342531422US) in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on August 27, 2003:
Cheryl Desvignes

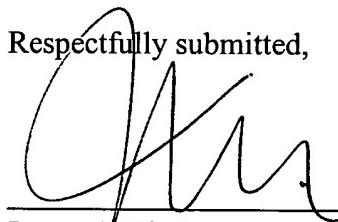
Name of Person Mailing Correspondence

Cheryl DesVignes
Signature
August 27, 2003

Date of Signature

JAF:lac

Respectfully submitted,


James A. Finder
Registration No.: 30,173
OSTROLENK, FABER, GERB & SOFFEN, LLP
1180 Avenue of the Americas
New York, New York 10036-8403
Telephone: (212) 382-0700

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

0936-1

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 7月22日

出願番号

Application Number: 特願2002-212884

[ST.10/C]:

[JP2002-212884]

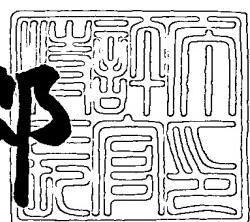
出願人

Applicant(s): 大日本スクリーン製造株式会社

2003年 2月18日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3008760

【書類名】 特許願
【整理番号】 106102
【提出日】 平成14年 7月22日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/66
【発明者】
【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
【氏名】 北嶋 敏和
【発明者】
【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
【氏名】 河野 元宏
【特許出願人】
【識別番号】 000207551
【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1
【氏名又は名称】 大日本スクリーン製造株式会社
【代理人】
【識別番号】 100101328
【弁理士】
【氏名又は名称】 川崎 実夫
【選任した代理人】
【識別番号】 100075155
【弁理士】
【氏名又は名称】 亀井 弘勝
【選任した代理人】
【識別番号】 100087701
【弁理士】

【氏名又は名称】 稲岡 耕作

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 052906

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9502702

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 膜厚測定方法、比誘電率測定方法、膜厚測定装置、および比誘電率測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板の一方表面に形成された絶縁膜の膜厚を、この絶縁膜に関して非接触で測定する方法であって、

絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理工程と、

この帯電処理工程の前に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第1のフラットバンド電圧を求める工程と、上記帯電処理工
程の後に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって
、第2のフラットバンド電圧を求める工程と、上記第1および第2のフラットバ
ンド電圧の差から、上記帯電処理工程により絶縁膜表面に付与された電荷量を算
出する工程とを含む電荷量測定工程と、

上記帯電処理工程の後、絶縁膜の表面電位を絶縁膜に関して非接触で測定する
表面電位測定工程と、

上記電荷量測定工程で測定された電荷量および上記表面電位測定工程で測定さ
れた表面電位から、絶縁膜の膜厚を算出する工程とを含むことを特徴とする膜厚
測定方法。

【請求項2】

上記帯電処理工程がコロナ放電によって絶縁膜表面を帯電させる工程を含むこ
とを特徴とする請求項1記載の膜厚測定方法。

【請求項3】

上記帯電処理工程が220nm以上300nm以下の波長を有する紫外線を半
導体基板に照射する工程を含むことを特徴とする請求項1または2記載の膜厚測
定方法。

【請求項4】

半導体基板の一方表面に形成された絶縁膜の比誘電率を、この絶縁膜に関して
非接触で測定する方法であって、

絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理工程と、

この帯電処理工程の前に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第1のフラットバンド電圧を求める工程と、上記帯電処理工程の後に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第2のフラットバンド電圧を求める工程と、上記第1および第2のフラットバンド電圧の差から、上記帯電処理工程により絶縁膜表面に付与された電荷量を算出する工程とを含む電荷量測定工程と、

上記帯電処理工程後に、絶縁膜の表面電位を非接触で測定する表面電位測定工程と、

上記電荷量測定工程で測定された電荷量および上記表面電位測定工程で測定された表面電位から、絶縁膜の比誘電率を算出する工程とを含むことを特徴とする比誘電率測定方法。

【請求項5】

上記帯電処理工程がコロナ放電によって絶縁膜表面を帯電させる工程を含むことを特徴とする請求項4記載の比誘電率測定方法。

【請求項6】

上記帯電処理工程が220nm以上300nm以下の波長を有する紫外線を半導体基板に照射する工程を含むことを特徴とする請求項4または5記載の比誘電率測定方法。

【請求項7】

半導体基板の一方表面に形成された絶縁膜の膜厚を、この絶縁膜に関して非接触で測定する膜厚測定装置であって、

絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理部と、

この帯電処理部によって絶縁膜表面に付与された電荷量を、絶縁膜に関して非接触で測定する電荷量測定部であって、半導体基板の他方表面に接触する接触電極と、

上記他方表面上に上記接触電極が接触している半導体基板の上記一方表面に離間して対向配置可能な測定電極と、

半導体基板と上記測定電極との間隔を測定するギャップ測定手段と、

半導体基板と上記測定電極との間隔を変更するギャップ変更機構と、
上記接触電極と上記測定電極との間にバイアス電圧を印加可能で、印加するバ
イアス電圧の大きさを変化させることができバイアス電圧印加手段と、
上記接触電極と上記測定電極との間の電気容量を測定する容量測定手段とを有
する電荷量測定部と、
絶縁膜の表面電位を、絶縁膜に関して非接触で測定する表面電位測定部とを備
えたことを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項8】

上記帯電処理部が、絶縁膜の表面でコロナ放電を生じさせるコロナ放電部を含
むことを特徴とする請求項7記載の膜厚測定装置。

【請求項9】

上記帯電処理部が、絶縁膜の表面に紫外線を照射する紫外線照射部を含むこと
を特徴とする請求項7または8記載の膜厚測定装置。

【請求項10】

半導体基板の一方表面に形成された絶縁膜の比誘電率を、この絶縁膜に関して
非接触で測定する比誘電率測定装置であって、

絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理部と、
この帯電処理部によって絶縁膜表面に付与された電荷量を、絶縁膜に関して非
接触で測定する電荷量測定部であって、半導体基板の他方表面に接触する接触電
極と、

上記他方表面に上記接触電極が接触している半導体基板の上記一方表面に離間
して対向配置可能な測定電極と、

半導体基板と上記測定電極との間隔を測定するギャップ測定手段と、
半導体基板と上記測定電極との間隔を変更するギャップ変更機構と、
上記接触電極と上記測定電極との間にバイアス電圧を印加可能で、印加するバ
イアス電圧の大きさを変化させることができバイアス電圧印加手段と、
上記接触電極と上記測定電極との間の電気容量を測定する容量測定手段とを有
する電荷量測定部と、
絶縁膜の表面電位を、絶縁膜に関して非接触で測定する表面電位測定部とを備

えたことを特徴とする比誘電率測定装置。

【請求項11】

上記帯電処理部が、絶縁膜の表面でコロナ放電を生じさせるコロナ放電部を含むことを特徴とする請求項10記載の比誘電率測定装置。

【請求項12】

上記帯電処理部が、半導体基板に紫外線を照射する紫外線照射部を含むことを特徴とする請求項10または11記載の比誘電率測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体基板の表面に形成された絶縁膜を測定対象とする膜厚測定方法、比誘電率測定方法、膜厚測定装置、および比誘電率測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体デバイスは、半導体基板の上に絶縁膜を含む種々の膜が形成されて製造される。絶縁膜の特性は、半導体デバイスの特性に大きな影響を与えるので、半導体デバイスの製造工程において、絶縁膜の特性を評価することは不可欠である。

半導体デバイスの集積技術の進歩によって、絶縁膜の種類や膜厚が変わってきており、それにともなって、絶縁膜の評価方法も変わってきている。たとえば、絶縁膜の膜厚の測定方法として、従来は、光学的な方法（たとえば、エリプソメトリ）が用いられることがあった。しかし、このような光学的な方法では、絶縁膜表面に付着した有機物の影響を受けるため、必ずしも正確な測定ができなかつた。そこで、デバイスの動作に直結した電気的な膜厚測定方法が注目されている。

【0003】

また、層間絶縁膜を挟んで配線を形成する多層化技術の進歩に伴い、絶縁膜の比誘電率が重要なパラメータとなってきており、絶縁膜の比誘電率をより正確に測定することが求められている。

絶縁膜において、膜厚は、表面の電荷量、表面電位、および比誘電率がわかれば求めることができ、比誘電率は、表面の電荷量、表面電位、および膜厚がわかれれば求めることができる。したがって、表面の電荷量および表面電位に加えて、膜厚および比誘電率の一方を知ることができれば、他方を求めることができる。

【0004】

絶縁膜の膜厚または比誘電率の測定において、絶縁膜の表面に電極を形成して測定を行う方法がある。この方法は、破壊試験であり、工程が多くなるので望ましくない。水銀を電極として測定する方法もあるが、水銀は人体に有害であるため取り扱いが煩雑になる。また、電極を絶縁膜の表面に形成した場合は、測定の際に絶縁膜をリークする電流が発生して測定が不正確になるおそれがある。

このため、絶縁膜の膜厚や比誘電率を非接触で測定する方法が求められている。このような測定方法として、絶縁膜の表面をコロナ放電により帯電させたときの絶縁膜表面の電荷量と表面電位とを測定し、これらの測定値から絶縁膜の膜厚または比誘電率を求めるものがある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、従来は、絶縁膜表面の電荷量を直接測定することができず、コロナ放電時に絶縁膜に与えられる電荷をクーロンメータで測定したり、半導体基板へ流れる電流を測定したりして、これらの測定値から間接的に絶縁膜表面の電荷量を求めていた。

半導体技術の進歩により、パターンの微細化が進むにしたがって、ゲート酸化膜の薄型化および層間絶縁膜の低誘電率化が進んでいる。このため、これらの絶縁膜中をリークする電流も存在するので、上述の間接的な測定方法では絶縁膜表面の電荷量を正確に求めることができなかった。したがって、絶縁膜の膜厚または比誘電率を正確に測定することができなかった。

【0006】

そこで、この発明の目的は、半導体基板の表面に形成された絶縁膜の膜厚を正確に測定できる膜厚測定方法を提供することである。

この発明の他の目的は、半導体基板の表面に形成された絶縁膜の比誘電率を正

確に測定できる比誘電率測定方法を提供することである。

この発明のさらに他の目的は、半導体基板の表面に形成された絶縁膜の膜厚を正確に測定できる膜厚測定装置を提供することである。

【0007】

この発明のさらに他の目的は、半導体基板の表面に形成された絶縁膜の比誘電率を正確に測定できる比誘電率測定装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

上記の課題を解決するための請求項1記載の発明は、半導体基板(W)の一方表面に形成された絶縁膜の膜厚を、この絶縁膜に関して非接触で測定する方法であって、絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理工程(S2)と、この帯電処理工程の前に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第1のフラットバンド電圧を求める工程(S1)と、上記帯電処理工程の後に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第2のフラットバンド電圧を求める工程(S3)と、上記第1および第2のフラットバンド電圧の差から、上記帯電処理工程により絶縁膜表面に付与された電荷量を算出する工程(S4)とを含む電荷量測定工程と、上記帯電処理工程の後、絶縁膜の表面電位を絶縁膜に関して非接触で測定する表面電位測定工程(S5)と、上記電荷量測定工程で測定された電荷量および上記表面電位測定工程で測定された表面電位から、絶縁膜の膜厚を算出する工程(S8)とを含むことを特徴とする膜厚測定方法である。

【0009】

なお、括弧内の英数字は、後述の実施形態における対応構成要素等を表す。以下、この項において同じ。

絶縁膜の膜厚は、絶縁膜に関して、表面の電荷量、面積、表面電位、および比誘電率がわかれば求まる。そこで、この発明によれば、電荷量測定工程によって帯電処理工程で絶縁膜表面に付与された電荷量が得られる。帯電処理工程の前に絶縁膜表面が帯電していなければ、この電荷量は、絶縁膜表面の全電荷量に等しい。絶縁膜の面積は、パターン設計上既知である。また、表面電位測定工程によ

り、絶縁膜の表面電位が得られる。したがって、絶縁膜の比誘電率がわかれば、絶縁膜の膜厚を算出することができる。

【0010】

絶縁膜の比誘電率は、たとえば、絶縁膜が酸化シリコンからなるゲート酸化膜である場合、測定対象の半導体基板によらず一定の値とみなすことができ、かつ、既知である。したがって、この比誘電率の値（文献値等）を用いて、絶縁膜の膜厚を求めることができる。

また、絶縁膜表面の電荷量および絶縁膜の表面電位の代わりに、絶縁膜の表面電位に対する電荷量の変化率がわかる場合でも、同様にして、絶縁膜の膜厚を算出できる。帯電処理工程、電荷量測定工程、および表面電位測定工程を複数回繰り返すことにより、絶縁膜に関して表面の電荷量および表面電位について複数組のデータが得られる。これにより、絶縁膜の表面電位に対する電荷量の変化率が求まる。この場合、絶縁膜表面の電荷量の絶対値（全電荷量）を正確に知ることができなくても、正確に絶縁膜の膜厚を求めることができる。

【0011】

この発明では、帯電処理工程、電荷量測定工程、および表面電位測定工程は、すべて、非接触で行われる。したがって、この発明によれば、非接触で絶縁膜の膜厚を測定できる。すなわち、半導体基板を非破壊で測定できる。また、絶縁膜の表面に電極を形成する工程が不要であり、このような電極を形成して測定した場合に絶縁膜に生ずるリーク電流もないで、正確な測定を行うことができる。

絶縁膜の表面電位の測定は、たとえば、公知のケルビンプローブを用いることにより、非接触で行うことができる。

【0012】

電荷量の測定に適用されるC-V測定は、絶縁膜の表面と間隔をあけて配された測定電極を用いて行うことができる。第1および第2のフラットバンド電圧、ならびに絶縁膜と測定電極とのギャップ（間隔）がわかれば、帯電処理により絶縁膜表面に付与された電荷量を算出することができる。このように、非接触で絶縁膜に付与された電荷量を求めることができる。また、この方法は、電荷量を、一定の仮定の下に間接的に求めるものではなく、直接求めるものである。したが

って、得られた電荷量は正確である。

【0013】

請求項2記載の発明は、上記帯電処理工程がコロナ放電によって絶縁膜表面を帯電させる工程(S2)を含むことを特徴とする請求項1記載の膜厚測定方法である。

この発明によれば、コロナ放電により、非接触で絶縁膜表面を一様に帯電させることができる。これにより、絶縁膜表面の電荷量や絶縁膜の表面電位を精度よく求めることができる。

【0014】

絶縁膜の膜厚を測定するためには、半導体基板がP型半導体である場合は絶縁膜表面を負に帯電させ、半導体基板がN型半導体である場合は絶縁膜表面を正に帯電させる必要があるが、この発明によれば、放電時の極性を選択することにより、絶縁膜表面を正に帯電させることも負に帯電させることもできる。

請求項3記載の発明は、上記帯電処理工程が220nm以上300nm以下の波長を有する紫外線を半導体基板に照射する工程を含むことを特徴とする請求項1または2記載の膜厚測定方法である。

【0015】

この発明によれば、紫外線を半導体基板に照射することにより、絶縁膜を帯電させることができる。紫外線の波長が220nm以上300nm以下である場合、半導体基板にダメージを与えることなく、半導体基板中の電子を励起できる。それらの電子の一部が絶縁膜へと移動し絶縁膜表面が負に帯電する。すなわち、この方法により、絶縁膜表面を負に帯電させることができる。

帯電処理工程は、コロナ放電と紫外線照射とを併用して行ってもよい。

【0016】

請求項4記載の発明は、半導体基板(W)の一方表面に形成された絶縁膜の比誘電率を、この絶縁膜に関して非接触で測定する方法であって、絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理工程(S2)と、この帯電処理工程の前に、絶縁膜に関して非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第1のフラットバンド電圧を求める工程(S1)と、上記帯電処理工程の後に、絶縁膜に関して

非接触で半導体基板のC-V測定を行うことによって、第2のフラットバンド電圧を求める工程（S3）と、上記第1および第2のフラットバンド電圧の差から、上記帯電処理工程により絶縁膜表面に付与された電荷量を算出する工程（S4）とを含む電荷量測定工程と、上記帯電処理工程後に、絶縁膜の表面電位を非接触で測定する表面電位測定工程（S5）と、上記電荷量測定工程で測定された電荷量および上記表面電位測定工程で測定された表面電位から、絶縁膜の比誘電率を算出する工程（S8）とを含むことを特徴とする比誘電率測定方法である。

【0017】

絶縁膜の比誘電率は、絶縁膜に関して、表面の電荷量、面積、表面電位、および膜厚がわかれば求まる。そこで、この発明によれば、電荷量測定工程によって帯電処理工程で絶縁膜表面に付与された電荷量が得られる。帯電処理工程の前に絶縁膜表面が帯電していなければ、この電荷量は、絶縁膜表面の全電荷量に等しい。絶縁膜の面積は、パターン設計上既知である。また、表面電位測定工程により、絶縁膜の表面電位が得られる。したがって、絶縁膜の膜厚がわかれば、絶縁膜の比誘電率を算出することができる。

【0018】

絶縁膜の膜厚は、予め他の方法により測定しておくことができる。たとえば、絶縁膜が一般的な層間絶縁膜である場合、絶縁膜の膜厚は厚く比誘電率は低くされている。絶縁膜の膜厚が厚い場合、光学的な方法により膜厚を測定しても正確な測定値が得られる。したがって、測定対象の絶縁膜について、別途光学的な原理による膜厚測定装置で膜厚を予め測定しておけば、その値を用いて絶縁膜の比誘電率を算出することができる。

【0019】

この発明では、帯電処理工程、電荷量測定工程、および表面電位測定工程は、すべて、非接触で行われる。したがって、この発明によれば、非接触で絶縁膜の比誘電率を測定できる。すなわち、半導体基板を非破壊で測定できる。また、絶縁膜の表面に電極を形成する工程が不要であり、このような電極を形成して測定した場合に絶縁膜に生ずるリーク電流もないで、正確な測定を行うことができる。

【0020】

請求項5記載の発明は、上記帯電処理工程がコロナ放電によって絶縁膜表面を帯電させる工程（S2）を含むことを特徴とする請求項4記載の比誘電率測定方法である。

この比誘電率測定方法は、請求項2記載の膜厚測定方法と同様の効果を奏することができる。

請求項6記載の発明は、上記帯電処理工程が220nm以上300nm以下の波長を有する紫外線を半導体基板に照射する工程を含むことを特徴とする請求項4または5記載の比誘電率測定方法である。

【0021】

この比誘電率測定方法は、請求項3記載の膜厚測定方法と同様の効果を奏することができる。

請求項7記載の発明は、半導体基板（W）の一方表面に形成された絶縁膜の膜厚を、この絶縁膜に関して非接触で測定する膜厚測定装置であって、絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理部（1）と、この帯電処理部によって絶縁膜表面に付与された電荷量を、絶縁膜に関して非接触で測定する電荷量測定部（2）であって、半導体基板の他方表面に接触する接触電極（5）と、上記他方表面上に上記接触電極が接触している半導体基板の上記一方表面に離間して対向配置可能な測定電極（21）と、半導体基板と上記測定電極との間隔を測定するギャップ測定手段（27，28，29）と、半導体基板と上記測定電極との間隔を変更するギャップ変更機構（22，23）と、上記接触電極と上記測定電極との間にバイアス電圧を印加可能で、印加するバイアス電圧の大きさを変化させることができるバイアス電圧印加手段（26）と、上記接触電極と上記測定電極との間の電気容量を測定する容量測定手段（26）とを有する電荷量測定部と、絶縁膜の表面電位を、絶縁膜に関して非接触で測定する表面電位測定部（3）とを備えたことを特徴とする膜厚測定装置である。

【0022】

この発明によれば、帯電処理部により請求項1記載の膜厚測定方法の帯電処理工程を実施できる。また、表面電位測定部により請求項1記載の膜厚測定方法の

表面電位測定工程を実施できる。

接触電極を半導体基板の他方表面に接触させ、測定電極を半導体基板の一方表面に形成された絶縁膜に離間して対向させ、この状態でバイアス電圧印加手段により接触電極と測定電極との間にバイアス電圧を印加しながら、容量測定手段により容量を測定することにより、請求項1記載の膜厚測定方法のC-V測定を行うことができる。

【0023】

ギャップ測定手段で半導体基板と測定電極との間隔（ギャップ）を測定しながら、ギャップ変更機構で半導体基板と測定電極との間の間隔を変更することにより、半導体基板と測定電極との間を所定の間隔にすることができる。これにより、帯電処理工程の前後で、半導体基板と測定電極との間隔をほぼ同じにしてC-V測定を行うことができる。この場合、簡単な計算により、帯電処理工程で絶縁膜表面に付与された電荷量を算出できる。

【0024】

以上のことから、この膜厚測定装置により、請求項1記載の膜厚測定方法を実施することができ、請求項1記載の膜厚測定方法と同様の効果を奏することができる。

この膜厚測定装置は、測定対象の絶縁膜が形成された半導体基板を、帯電処理部、電荷量測定部、および表面電位測定部に対して相対的に移動させるローダを備えたものとすることができる。ローダは、半導体基板を保持する保持台を備えたものであってもよく、保持台は接触電極を備えたものであってもよい。

【0025】

請求項8記載の発明は、上記帯電処理部が、絶縁膜の表面でコロナ放電を生じさせるコロナ放電部（5，11）を含むことを特徴とする請求項7記載の膜厚測定装置である。

この膜厚測定装置により、請求項2記載の膜厚測定方法を実施することができ、請求項2記載の膜厚測定方法と同様の効果を奏することができる。

請求項9記載の発明は、上記帯電処理部が、絶縁膜の表面に紫外線を照射する紫外線照射部を含むことを特徴とする請求項7または8記載の膜厚測定装置であ

る。

【0026】

この膜厚測定装置により、請求項3記載の膜厚測定方法を実施することができ、請求項3記載の膜厚測定方法と同様の効果を奏することができる。

請求項10記載の発明は、半導体基板(W)の一方表面に形成された絶縁膜の比誘電率を、この絶縁膜に関して非接触で測定する比誘電率測定装置であって、絶縁膜の表面を非接触で帯電させる帯電処理部(1)と、この帯電処理部によつて絶縁膜表面に付与された電荷量を、絶縁膜に関して非接触で測定する電荷量測定部(2)であつて、半導体基板の他方表面に接触する接触電極(5)と、上記他方表面に上記接触電極が接触している半導体基板の上記一方表面に離間して対向配置可能な測定電極(21)と、半導体基板と上記測定電極との間隔を測定するギャップ測定手段(27, 28, 29)と、半導体基板と上記測定電極との間隔を変更するギャップ変更機構(22, 23)と、上記接触電極と上記測定電極との間にバイアス電圧を印加可能で、印加するバイアス電圧の大きさを変化させることが可能なバイアス電圧印加手段(26)と、上記接触電極と上記測定電極との間の電気容量を測定する容量測定手段(26)とを有する電荷量測定部と、絶縁膜の表面電位を、絶縁膜に関して非接触で測定する表面電位測定部(3)とを備えたことを特徴とする比誘電率測定装置である。

【0027】

この比誘電率測定装置により、請求項4記載の比誘電率測定方法を実施することができ、請求項4記載の比誘電率測定方法と同様の効果を奏することができる。

この比誘電率装置は、測定対象の絶縁膜が形成された半導体基板を、帯電処理部、電荷量測定部、および表面電位測定部に対して相対的に移動させるローダを備えたものとすることができます。ローダは、半導体基板を保持する保持台を備えたものであってもよく、保持台は接触電極を備えたものであってもよい。

【0028】

請求項11記載の発明は、上記帯電処理部が、絶縁膜の表面でコロナ放電を生じさせるコロナ放電部(5, 11)を含むことを特徴とする請求項10記載の比

誘電率測定装置である。

この比誘電率測定装置により、請求項5記載の比誘電率測定方法を実施することができ、請求項5記載の比誘電率測定方法と同様の効果を奏することができる。

【0029】

請求項12記載の発明は、上記帯電処理部が、半導体基板に紫外線を照射する紫外線照射部を含むことを特徴とする請求項10または11記載の比誘電率測定装置である。

この比誘電率測定装置により、請求項6記載の比誘電率測定方法を実施することができ、請求項6記載の比誘電率測定方法と同様の効果を奏することができる。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下では、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係る膜厚／比誘電率測定装置の図解的な正面図である。

この膜厚／比誘電率測定装置は、半導体基板の一例であるウエハWの表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を測定するためのもので、チャンバ9、およびチャンバ9内で処理または測定を行うための帯電処理部1、電荷量測定部2、および表面電位測定部3を備えている。帯電処理部1、電荷量測定部2、および表面電位測定部3は、直線状に順に配されており、ウエハWは、帯電処理部1における帯電処理位置、電荷量測定部2におけるC-V測定位置、および表面電位測定部3における表面電位測定位置の間を、ローダ4により移動されるようになっている。

【0031】

チャンバ9内には、チャンバ9内の雰囲気温度を測定するための温度センサ10が取り付けられている。温度センサ10の出力は、制御部40に入力されるようになっている。

ローダ4は、ウエハWをほぼ水平に保持するための保持台5と、この保持台5を支持してほぼ水平方向に直線的に案内するレール6と、保持台5をレール6に沿って移動させる移動機構7とを備えている。保持台5は、たとえば、ウエハWの下面を真空吸着することにより、ウエハWを保持するものとすることができます。保持台5のウエハWに接する部分は、電気的導体で形成されており、接触電極として機能する。

【0032】

帯電処理部1は、コロナ放電によりウエハWを帯電させるためのもので、電圧を印加するためのニードル11を備えている。ニードル11および保持台5は、それぞれ直流電源8に接続されている。帯電処理位置では、ウエハWはニードル11に対向するようになっている。

ウエハWが帯電処理位置にあるとき、直流電源8によりニードル11と保持台5との間に直流電圧を印加することにより、ニードル11とウエハWとの間でコロナ放電を生じさせ、これによってウエハW表面に形成された絶縁膜を帯電させることができるようになっている。直流電源8は、印加する電圧の極性を反転可能であり、ウエハWを正に帯電させることも負に帯電させることも可能である。

【0033】

電荷量測定部2では、ウエハWのC-V測定（容量・電圧測定）を行うことができる。電荷量測定部2は、ベース24、ベース24の下部に取り付けられた三角柱状のプリズム25、およびプリズム25の底面25aに取り付けられた測定電極21を備えている。プリズム25は、側面を構成する一面が下方に向かってほぼ水平になるように配されている。以下、この面を、「底面25a」という。

測定電極21および保持台5は、それぞれインピーダンスマータ26に接続されており、測定電極21と保持台5との間にバイアス電圧をかけながらこれらの間の合成容量を測定できるようになっている。インピーダンスマータ26は、バイアス電圧の大きさを変化させることができるようにになっている。これにより、C-V測定ができる。

【0034】

ベース24は、圧電アクチュエータ23を介してステッピングモータ22に結

合されており、ステッピングモータ22および圧電アクチュエータ23により、上下動されるようになっている。C-V測定位置では、ウエハWは、測定電極21に対向するようになっている。ウエハWがC-V測定位置にあるとき、ウエハWと測定電極21との間隔を、ステッピングモータ22により粗調整し、圧電アクチュエータ23により微調整可能である。圧電アクチュエータ23は、たとえば、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)からなる圧電素子を備えたものとすることができる。

【0035】

ベース24にはレーザ光を出射するレーザ発振器27および受光センサ28が取り付けられている。レーザ発振器27から出射されたレーザ光は、プリズム25の底面25aで全反射されて、受光センサ28で受光されるようになっている。受光センサ28は、光量測定器29に接続されており、受光センサ28で受光されるレーザ光の光量を測定できるようになっている。

光量測定器29で測定される光量は、プリズム25の底面25aで反射されるレーザ光のトンネル効果が反映されたものとなり、これにより、ウエハWと測定電極21との間のギャップ d_{air} を測定できるようになっている。このギャップ測定方法の原理については、特開平4-132236号公報に詳述されているが、一定の場合には、レーザ光の底面25aにおける透過率 R_t の対数 $\log R_t$ とギャップ d_{air} とは、比例関係にあるとみなすことができる。透過率 R_t は、反射率がわかれば求めることができるので、光量測定器29で測定されるレーザ光の光量から反射率が求まれば、ギャップ d_{air} を求めることができる。

【0036】

光量測定器29およびインピーダンスマータ26の出力信号は、制御部40に入力されるようになっている。制御部40は、C-V測定の結果からフラットバンド電圧を求めることができ、さらに、帯電処理前後のフラットバンド電圧およびギャップ d_{air} から、帯電処理によって絶縁膜表面に付与された電荷量Qを求めることができる。制御部40としては、パーソナルコンピュータを用いることができる。

【0037】

表面電位測定部3は、電極32を有するケルビンプローブ31を備えている。表面電位測定位置では、ウエハWは、ケルビンプローブ31に対向するようになっている。

ケルビンプローブ31は、電極32を上下に振動させ、電極32に電圧をかけることができるようになっている。絶縁膜表面が帶電したウエハWが表面電位測定位置にあるときに、電極32を振動させることにより、電極32にはその振動数で変化する電荷が誘導される。電極32に適当な電圧をかけることにより、この電荷を打ち消すことができる。このときの電圧から、ウエハWの表面電位を求めることができる。ケルビンプローブ31の出力信号は、制御部40に入力されるようになっている。

【0038】

移動機構7、直流電源8、インピーダンスマータ26、レーザ発信器27、およびケルビンプローブ31の動作は、制御部40により制御されるようになっている。

次に、この膜厚／比誘電率測定装置により、ウエハWの表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を測定する手順について説明する。

図2は、図1の膜厚／比誘電率測定装置により、ウエハWの表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を測定する手順を示すフローチャートである。この手順に基づいて測定を実行するためのプログラムは、制御部40に格納されている。

【0039】

先ず、保持台5の上に、絶縁膜が形成された面を上にしてウエハWが保持され、制御部40により移動機構7が制御されて、ウエハWがC-V測定位置に移動される。そして、制御部40により、光量測定器29の出力信号に基づくギャップ d_{air} がモニタされながら、ステッピングモータ22および圧電アクチュエータ23が制御されて、ギャップ d_{air} が所定の値になるように調整される。

その後、制御部40の制御によりインピーダンスマータ26が制御されて、C-V測定、すなわち、各バイアス電圧ごとの保持台5と測定電極21との間の合成容量が測定される（ステップS1）。その際、ウエハWと測定電極21とはギ

マップを有して配されているので、C-V測定はウエハWに対して非接触で行われる。このようにして、バイアス電圧と合成容量との関係、すなわち、C-V曲線CV1が得られる。

【0040】

図3に、C-V曲線の一例を示す。

横軸がバイアス電圧であり、縦軸が合成容量Cを合成容量の最大値 C_{MAX} で標準化したもの（以下、「標準化容量」という。）である。標準化容量 C/C_{MAX} は、バイアス電圧の負側で1に収束し、バイアス電圧の増加とともに、あるバイアス電圧で大きく減少する。制御部40の演算により、C-V曲線から第1のフラットバンド電圧 V_{fb1} が求められる。

【0041】

この演算の詳細については、MOS(Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology (1982年、WILEY-INTERSCIENCE社発行) p.487に詳述されているが、先ず、第1のフラットバンド電圧 V_{fb1} に対応するフラットバンド容量 C_{fb1} が、以下の数式1より求められる。

【0042】

【数1】

$$C_{fb1} = C_{fbS} C_{MAX} / (C_{MAX} + C_{fbS})$$

ここで、 C_{fbS} はシリコン（ウエハW）のフラットバンド容量であり、以下の数式2で表される。

【0043】

【数2】

$$C_{fbS} = \epsilon_s / \lambda_p$$

ここで、 ϵ_s はウエハWの誘電率であり、真空中の誘電率 ϵ_0 とウエハWの比誘電率 ϵ_{Si} との積に等しい。ウエハWの比誘電率 ϵ_{Si} は文献値等を用いることができる。 λ_p はデバイ長であり、以下の数式3で表される。

【0044】

【数3】

$$\lambda p = \{ (k T \varepsilon_0 \varepsilon_{si}) / (q_u^2 N d) \}^{1/2}$$

ここで、 k はボルツマン定数であり、 q_u は電気素量である。 T は半導体ウエハWの温度であるが、温度センサ10で測定されたチャンバ9内の温度で代用することができる。 Nd はウエハWのキャリア濃度であり、別途測定することにより求めることができる。キャリア濃度 Nd は、通常、ウエハW購入時に測定されるので、その値を用いることができる。また、キャリア濃度 Nd は、C-V曲線の傾きから求めることもできる。

【0045】

このようにしてフラットバンド容量 C_{fb} が求まると、第1のフラットバンド電圧 V_{fb1} は、C-V曲線 $CV1$ において、標準化容量 C/C_{MAX} が C_{fb}/C_{MAX} であるときのバイアス電圧の値として求まる（図3参照）。

続いて、制御部40により移動機構7が制御されて、ウエハWが帯電処理位置に移動される。そして、制御部40により直流電源8が制御されて、ニードル11と保持台5との間に所定の電圧が印加される。これにより、ニードル11とウエハWとの間にコロナ放電が生じ、ウエハW表面に形成された絶縁膜が均一に帯電される（ステップS2）。

【0046】

この際、予め制御部40に与えられたウエハWの導電型に関する情報に基づいて、制御部40により直流電源8の極性が制御される。これにより、ウエハWがP型半導体である場合は絶縁膜表面が負に帯電され、ウエハWがN型半導体である場合は絶縁膜表面が正に帯電される。

その後、制御部40により移動機構7が制御されて、ウエハWがC-V測定位置に移動され、C-V測定が実施される（ステップS3）。このとき、ギャップ d_{air} の大きさは、ステップS1におけるC-V測定時とほぼ同じにされる。これにより、帯電処理後のC-V曲線 $CV2$ （図3参照。）が得られる。帯電処理後のC-V曲線 $CV2$ は、帯電処理前のC-V曲線 $CV1$ をバイアス電圧が正の側にシフトさせたような形を有している。

【0047】

続いて、制御部40の演算により、C-V曲線CV2から帶電処理後のフラットバンド電圧（第2のフラットバンド電圧）V_{f b}2が求められる。

第2のフラットバンド電圧V_{f b}2は、C-V曲線CV2において、標準化容量C/C_{MAX}がC_{f b}/C_{MAX}であるときのバイアス電圧の値として求まる（図3参照）。

そして、制御部40の演算により、次の式4に基づいて、第2のフラットバンド電圧V_{f b}2と第1のフラットバンド電圧V_{f b}1との差ΔV_{f b}、およびギャップd_{air}から、帶電処理によってウェハW表面に与えられた電荷量Qが求められる（ステップS4）。

【0048】

【数4】

$$\Delta V_{f b} = - Q d_{air} / \epsilon_0$$

次に、制御部40により移動機構7が制御されて、ウェハWが表面電位測定位置に移動され、ウェハWの表面電位V_{surf}が測定される（ステップS5）。これにより、電荷量Qとそのときの表面電位V_{surf}とからなる一組のデータが得られる。C-V測定（ステップS3）および表面電位V_{surf}の測定（ステップS5）は、絶縁膜表面の電荷量Qが変化していないとみなせる時間内に行われる。

【0049】

その後、制御部40により、ウェハWが蓄積状態であるか否か、すなわち、C-V曲線においてゼロバイアス近傍の合成容量Cの変化がほとんどないか否かが判断される（ステップS6）。たとえば、図3において、C-V曲線CV1に係るウェハWは蓄積状態ではなく、C-V曲線CV2に係るウェハWは蓄積状態である。

ウェハWが蓄積状態ではない場合（ステップS6のNO）は、再びステップS2に戻り、帶電処理（ステップS2）、C-V測定（ステップS3）、電荷量Qの計算（ステップS4）、および表面電位V_{surf}の測定（ステップS5）が行われる。二度目以降の帶電処理により、ウェハWがP型半導体である場合は、絶縁

膜表面が順次負側に大きく帶電されていき、ウエハWがN型半導体である場合は、絶縁膜表面が順次正側に大きく帶電されていく。

【0050】

電荷量Qの計算（ステップS4）にあたって、第1のフラットバンド電圧V_{f b 1}は最初の帶電処理前のC-V測定（ステップS1）によるものとされ、第2のフラットバンド電圧V_{f b 2}は、直前のC-V測定（直前の帶電処理後）によるものとされる（以下、同じ）。

このようにして、ステップS2からステップS5が実行されるたびに、電荷量Qとそのときの表面電位V_{surf}との組からなるデータが増えていく。

【0051】

ウエハWが蓄積状態の場合（ステップS6のYES）は、電荷量Qが所定の値以上であるか否かが判断される（ステップS7）。電荷量Qが極端に大きいと、インピーダンスマータ26が印加可能なバイアス電圧の範囲では、ウエハWは蓄積状態しか示さないよう（図3において、C-V曲線CV1, CV2をバイアス電圧が正の側に極端にシフトさせた状態）になり、フラットバンド電圧を求めることができなくなる。電荷Qの所定の値は、C-V測定によりウエハWのフラットバンド電圧を求めることが可能であるか否かを判断できるように設定されている。

【0052】

電荷量Qが所定の値より小さい場合（ステップS7のNO）、さらにC-V測定をしてフラットバンド電圧が得られる可能性があるので、ステップS2へと戻り、帶電処理（ステップS2）、C-V測定（ステップS3）、電荷量Qの計算（ステップS4）、表面電位V_{surf}の測定（ステップS4）、およびウエハWが蓄積状態か否かの判断（ステップS6）が行われる。

電荷量Qが所定の値以上である場合（ステップS7のYES）、制御部40により、絶縁膜の膜厚t_{ins}または比誘電率ε_{ins}が計算される（ステップS8）。絶縁膜の膜厚t_{ins}および比誘電率ε_{ins}は次の数式5で表される。

【0053】

【数5】

$$\frac{dq_u}{dV_{surf}} = \epsilon_{ins} \epsilon_0 / t_{ins}$$

ここで、 q_u は絶縁膜表面の単位面積あたりの電荷量であり、 ϵ_0 は真空の誘電率（定数）であり、 ϵ_{ins} は絶縁膜の比誘電率である。絶縁膜の面積は、パターン設計上既知であり、電荷量Qを絶縁膜の面積で割ることにより、単位面積あたりの電荷量 q_u が求まる。 $d q_u / d V_{surf}$ は、表面電位 V_{surf} に対する単位面積あたりの電荷量 q_u の変化率であり、単位面積あたりの絶縁膜の容量 c_{ins} に等しい。

【0054】

ここまで工程で、電荷量Qとそのときの表面電位 V_{surf} とからなる複数組のデータが得られている。

図4は、表面電位 V_{surf} と電荷量Qとの関係を示す図である。図4では、4組のデータが得られている場合について示している。縦軸を単位面積あたりの電荷量 q_u に置き換えると、たとえば、これらのデータを表す点の回帰直線の傾きが $d q_u / d V_{surf}$ となる。

【0055】

したがって、上記数式5により、絶縁膜の膜厚 t_{ins} および比誘電率 ϵ_{ins} のうちの一方がわかれば、他方を求めることができる。たとえば、絶縁膜が、酸化シリコンからなるゲート酸化膜である場合、比誘電率 ϵ_{ins} は測定対象のウエハWによらず一定の値とみなすことができ、かつ、既知であるので、その値（たとえば、文献値）を用いて数式5から絶縁膜の膜厚 t_{ins} を求めることができる。

また、たとえば、絶縁膜が一般的な層間絶縁膜である場合、絶縁膜の膜厚 t_{in} は厚く比誘電率 ϵ_{ins} は低い。絶縁膜の膜厚 t_{ins} が厚い場合、膜厚 t_{ins} は光学的な方法により測定しても正確な測定値が得られる。したがって、測定対象のウエハWについて、予め別の光学的な原理による膜厚測定装置で膜厚 t_{ins} を測定しておけば、その値を用いて数式5から比誘電率 ϵ_{ins} 求めることができる。

【0056】

$d q_u / d V_{surf}$ は、ウエハWが蓄積状態にあるときのデータのみに基づいて

求めることが好ましい。ウエハWが蓄積状態を維持するような表面電位の範囲では、ウエハW内部に空乏層が発生しないため、絶縁膜表面に存在する電荷Qと表面電位 V_{surf} とは比例関係にある。このときの比例係数は、絶縁膜の容量に対応しているので、絶縁膜の比誘電率 ϵ_{ins} に比例し、膜厚 t_{ins} に反比例する。したがって、ウエハWが蓄積状態にあるときのデータのみに基づいて求められた $d_q/u/dV_{surf}$ を用いることにより、比誘電率 ϵ_{ins} または膜厚 t_{ins} を正確に求めることができる。

【0057】

以上で、1枚のウエハWについて、絶縁膜の膜厚 t_{ins} または比誘電率 ϵ_{ins} の測定が終了する。

このような絶縁膜の膜厚 t_{ins} または比誘電率 ϵ_{ins} の測定において、C-V測定（ステップS1, S3）、帯電処理（ステップS2）、表面電位測定（ステップS5）などはすべて、測定対象の絶縁膜に対して非接触で行われる。すなわち、ウエハWを非破壊で測定できる。また、絶縁膜の表面に電極を形成する工程が不要であり、このような電極を形成した場合に生ずる絶縁膜のリーク電流がないので、正確な測定を行うことができる。

【0058】

さらに、絶縁膜表面の電荷量Qそのものを直接求めることができるので、電荷量Qを正確に求めることができ、このため、絶縁膜の膜厚 t_{ins} または比誘電率 ϵ_{ins} を正確に求めることができ、半導体デバイスのプロセス管理を正確に行うことができる。

本発明は、以上の実施形態に限定されるものではなく、たとえば、帯電処理部1は、コロナ放電の代わりに紫外線照射によりウエハW表面を帯電させるものであってもよい。紫外線の波長は、たとえば、220nm以上300nm以下とすることができる。この場合、紫外線がウエハWに照射されることにより、ウエハWはダメージを受けずに、ウエハW中の電子が励起され、それらの電子の一部が絶縁膜へと移動し絶縁膜表面が負に帯電する。

【0059】

上記の波長域では、ウエハW中の正孔は励起されないので、絶縁膜表面は正に

は帯電しない。すなわち、このような帯電処理は、絶縁膜表面を負に帯電させる場合に適用できる。また、このような帯電処理は、絶縁膜の膜厚が十分薄い（たとえば、100nm以下）場合に好適に適用できる。

その他、特許請求の範囲に記載された事項の範囲で種々の変更を施すことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態に係る膜厚／比誘電率測定装置の図解的な正面図である。

【図2】

図1の膜厚／比誘電率測定装置により、ウエハの表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を測定する手順を示すフローチャートである。

【図3】

C-V曲線の一例を示す図である。

【図4】

表面電位 V_{surf} と電荷量 Q との関係を示す図である。

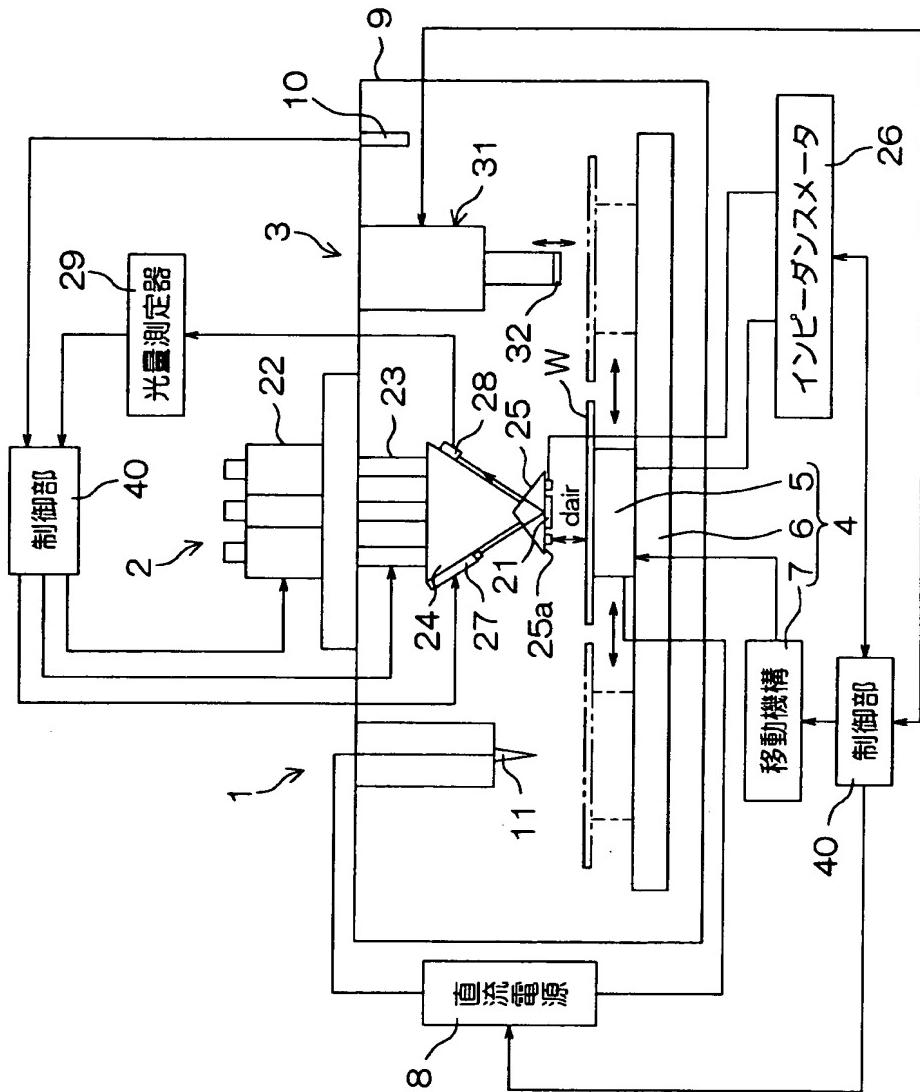
【符号の説明】

- 1 帯電処理部
- 2 電荷量測定部
- 3 表面電位測定部
- 5 保持台
- 8 直流電源
- 1 1 ニードル
- 2 1 測定電極
- 2 2 ステッピングモータ
- 2 3 圧電アクチュエータ
- 2 5 プリズム
- 2 6 インピーダンスマータ
- 2 7 レーザ発振器
- 2 8 受光センサ

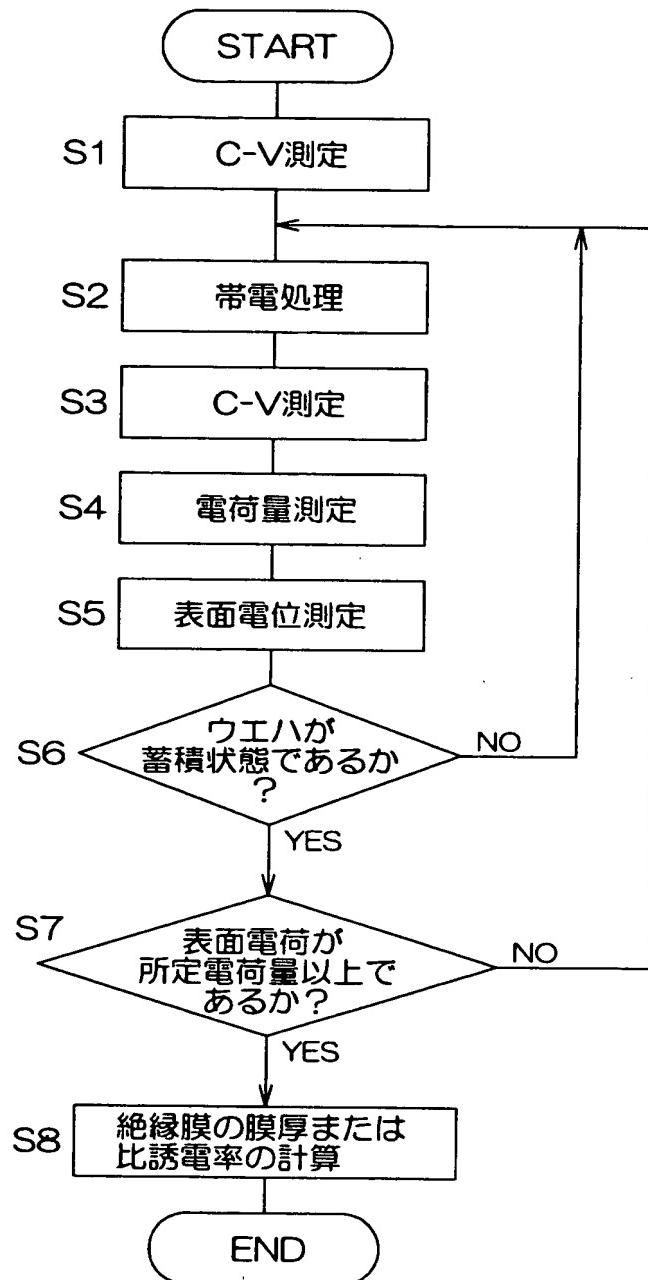
29 光量測定器

40 制御部

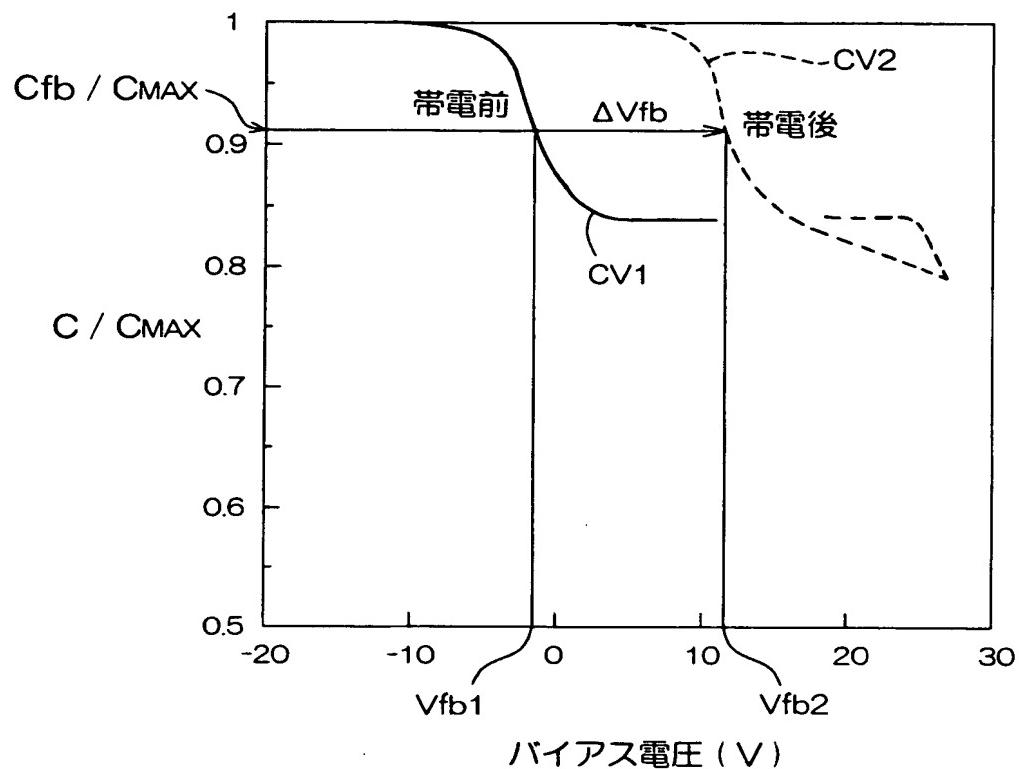
【書類名】 図面
【図1】



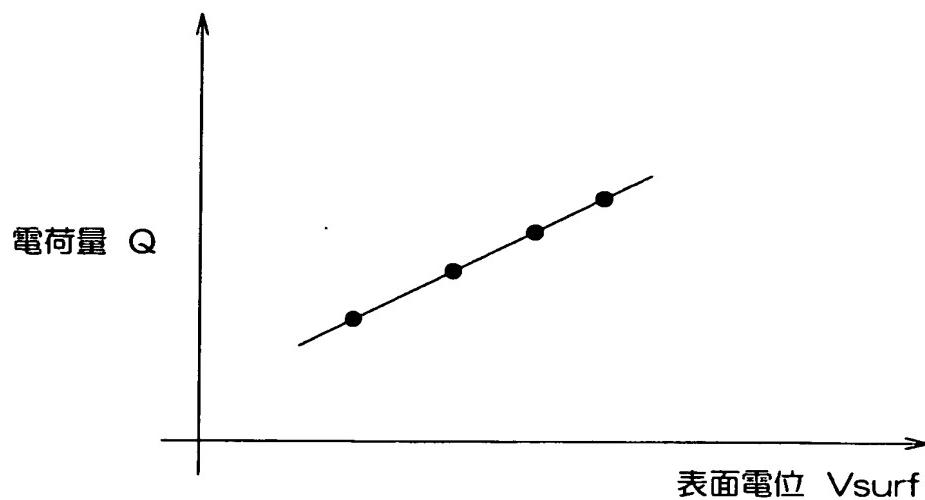
【図2】



【図3】



【図4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体基板の表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を正確に測定できる膜厚測定装置または比誘電率測定装置を提供する。

【解決手段】 この膜厚／比誘電率測定装置は、ウエハWの表面に形成された絶縁膜の膜厚または比誘電率を測定するためのもので、直線状に順に配された帯電処理部1、電荷量測定部2、および表面電位測定部3を備えている。帯電処理部1は、コロナ放電によりウエハWの表面に形成された絶縁膜を帯電させることができる。電荷量測定部2は、絶縁膜に非接触でウエハWのC-V測定を行うことができ、帯電処理部1による帯電処理の前後のフラットバンド電圧差を求めることにより、帯電処理により絶縁膜に与えられた電荷量を求めることができる。表面電位測定部3は、ケルビンプローブ3-1を備えており、非接触で絶縁膜表面の表面電位を測定できる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000207551]

1. 変更年月日 1990年 8月15日

[変更理由] 新規登録

住 所 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の
1

氏 名 大日本スクリーン製造株式会社